

基于USB2.0的虚拟数字示波器的设计*

林海军¹, 杨萍¹, 张礼勇¹, 陈世举²

(1. 哈尔滨理工大学 测控技术与通信工程学院, 哈尔滨 150040;
2. 哈尔滨电工仪表研究所, 哈尔滨 150081)

摘要:介绍了基于USB总线的双通道虚拟数字示波器的设计方案和开发方法。首先介绍了主要由高速数据采集卡、双端口缓冲和USB2.0接口组成的硬件电路的设计,然后以C51和VC++为软件工具设计了固件程序、虚拟仪器软面板和应用程序。该示波器的最高采样率为100 MSPS,具有有效值、平均值、峰值测量和记忆功能等,还扩展了频谱分析功能。

关键词:USB总线;虚拟数字示波器;VC++

中图分类号:TM935 **文献标识码:**B **文章编号:**1001-1390(2008)09-0037-05

Design of virtual digital oscillograph based on USB bus

LIN Hai-jun¹, YANG Ping¹, ZHANG Li-yong¹, CHEN Shi-ju²

(1. Harbin University of Science and Technology, Harbin 150040, China.

2. Harbin Research Institute of Electrical Instruments, Harbin 150081, China)

Abstract: The text introduces the design scheme and developing way of dual-channel virtual digital oscilloscope based on USB bus. First it introduces the design of hardware circuit which is mainly composed of high-speed data acquisition card, dual-port data cushion and USB2.0 interface. Then firmware program, virtual instrument software panel and application are designed with the tools of C51 and VC++. The maximum sampling frequency of this oscilloscope is 100MSPS. It has virtual value, average value, peak value measurement and the function of memory. And it also extends the function of frequency analysis.

Key words: USB bus, virtual digital oscilloscope, VC++

0 引言

USB总线的出现为虚拟仪器技术提供了又一个崭新的平台,USB2.0版本新增的高速模式又使这一平台的空间得到延拓。虽然还存在用于测量的触发方式的瑕疵,但瑕不掩玉,基于USB总线的虚拟仪器技术越来越受到测试同行的青睐。

示波器是电子测量行业最常用的测量仪器之一,主要用来测量并显示被测信号的波形等参数,在很多领域得到广泛的应用。虚拟示波器突破了传统示波器的性能局限,在功能和应用性上发生了根本性变化。虚拟示波器不仅实现了传统示波器的功能,而且利用功能强大的微型计算机来完成信号的分析、处理,利

用软件技术在屏幕上设计出逼真的仪器面板并显示各种特征图形。计算机功能最大化地服务于虚拟仪器,使仪器功能得到充分发展和完善。

1 系统结构及硬件设计

本虚拟仪器系统整体架构图如图1所示(见下页)。系统由硬件模块和计算机软件两大部分组成。硬件包括输入模块、调理电路、A/D转换电路、FIFO、逻辑控制电路和USB2.0接口。该系统实现示波器和频谱分析功能,同一硬件实现两种仪器功能的思想,充分体现了虚拟仪器的优势。

硬件是实现虚拟示波器功能的物质保证,应能实现一定准确度和较高速度的数据采集、存储和传输。由于本设计对采样速度、存储深度和通信速度都要求较高,因此设计过程中芯片选择和工作原理的设计特

* 黑龙江省科技攻关资助项目(GC05A513)

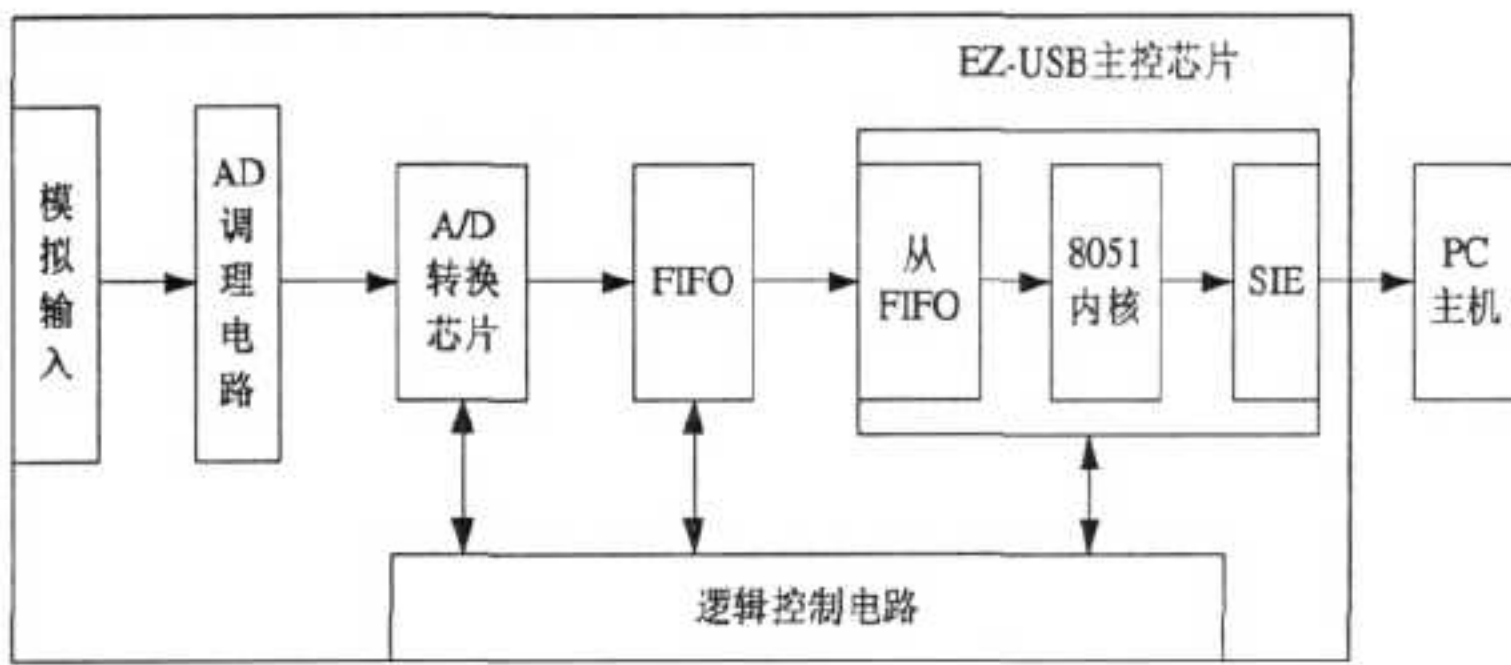


图1 系统整体架构图

别重要。本设计采用的主控芯片是Cypress公司的USB2.0控制芯片CY7C68013，它与计算机通过USB接口相连，使设备能在PC机的控制下进行操作。USB主控芯片通过逻辑控制电路连接到FIFO和A/D转换器，并通过逻辑控制电路对FIFO及A/D进行配置和控制，将A/D转换后的数据传送到FIFO芯片进行缓冲，缓冲后的数据输入主控芯片CY7C68013的从FIFO中；然后从FIFO以DMA（直接内存存取）的方式经由SIR（串行接口引擎）传给PC机。

为了实现高速数据采集的功能，A/D芯片选用的是ADS6124，它是一款12位、最高转换速度可达105MSPS的A/D转换芯片，通常情况下逻辑控制电路和数据存储可用FPGA实现，但考虑到对FIFO容量的需求而采用CPLD和FIFO实现。用XC9572实现逻辑控制，选用IDT72V3680完成数据缓存。IDT72V3680的工作速度可达133MHz，存储深度为16,384×36，能满足

设计需求。

1.1 主控芯片的工作方式

CY7C68013与外设有两种接口方式：可编程接口GPIF方式和从FIFO方式。GPIF的核心就是一个可编程状态机，可产生6个“控制”和9个“地址”输入信号，并能接收6个外部和2个内部“ready”输入信号。GPIF向外部接口产生正确的选通信号和握手信号，外部接口用于对FIFO数据的传进和传出。GPIF是主机的方式，而从FIFO

方式是从机方式，它由外部控制器控制，可像对普通FIFO一样对FX2的多层缓冲FIFO进行读写。FX2的从FIFO工作方式可设为同步或异步，工作时钟可选为内部产生或外部输入，其它控制信号也可根据需要设置为高有效或低有效。

1.2 FIFO的数据缓存作用

由于A/D最高采样速度可达105MSPS，而主控芯片CY7C68013中的FIFO只有4KB，相对于100MSPS的数据转换器来说太小，因此需要在A/D和CY7C68013之间增加一个高速大深度的FIFO来缓存数据。FIFO是先进先出的数据缓存器，数据在其内部顺序写入、顺序读出，其数据地址由内部读写指针自动加1完成。它具有双口输入输出、采集传送速度快等特点，能满足高速数据传输的要求。由FIFO构成的数据缓冲电路主要部分的接口电路如图2所示。

IDT72V3680的单一设备信号流输入、输出如图3

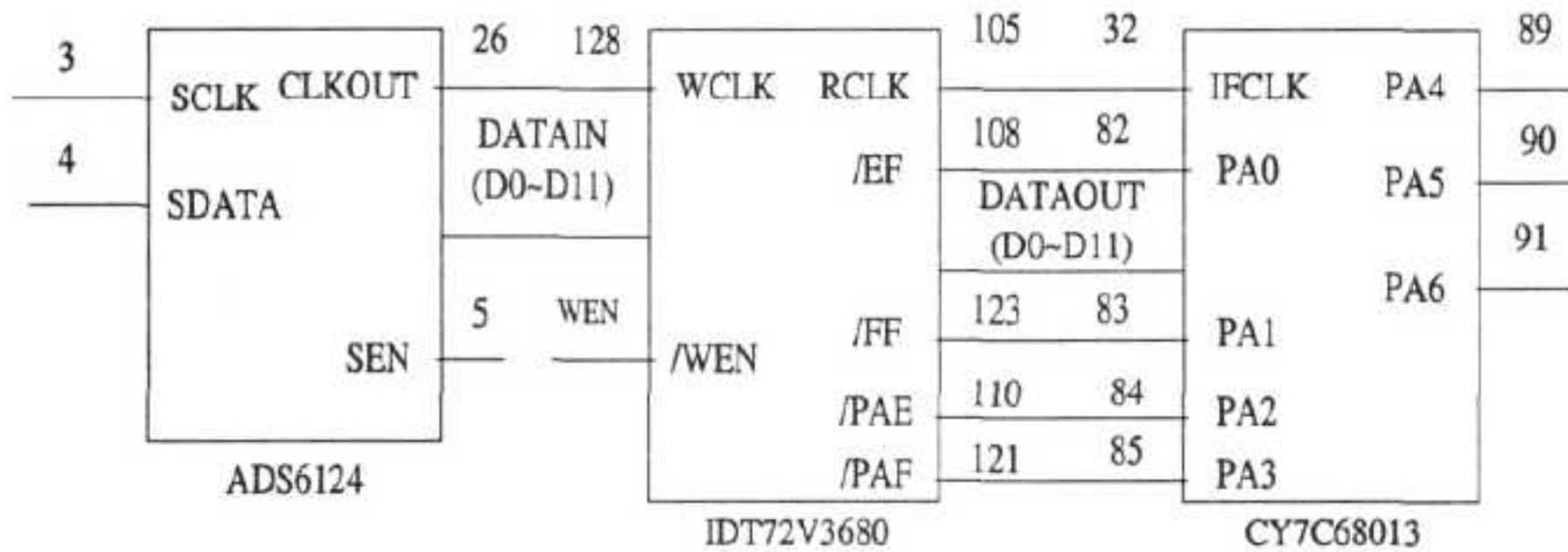


图2 数据缓冲电路接口连接图

所示。它有两种工作模式，即IDT标准模式和FWFT模式。本设计中采用IDT标准模式，这种模式通过/FF、/PAF、/PAE、/HF、/EF五个标志位来实现数据的传输。/WEN（写使能端）置为有效时，数据可以写入FIFO。在WCLK（写时钟）的控制下，数据持续写入FIFO，当第一个数据被写入时，/ER（空标志）无效，数据不断地写入FIFO，即将写满时，/PAR（空标志）无效，/PAR（将满标志）有效，表示FIFO即将写满。当FIFO写满时，/FF

（满标志）置为有效，控制A/D芯片停止写数。开始读数据时的第一个读操作使/FF置为无效，此时开始持续地读取数据，当FIFO中数据减少到一定程度会使/PAF（将满）和/HR（半满）两个标志位置为无效，持续读出数据，而不写入数据；当FIFO中只剩下N个字时（N为空状态的缺省值），/PAF有效；当FIFO中的数据被全部读出时，/EF置为有效，此时控制主控芯片停止读取数据，与此同时A/D也开始下一个读取数据过程，

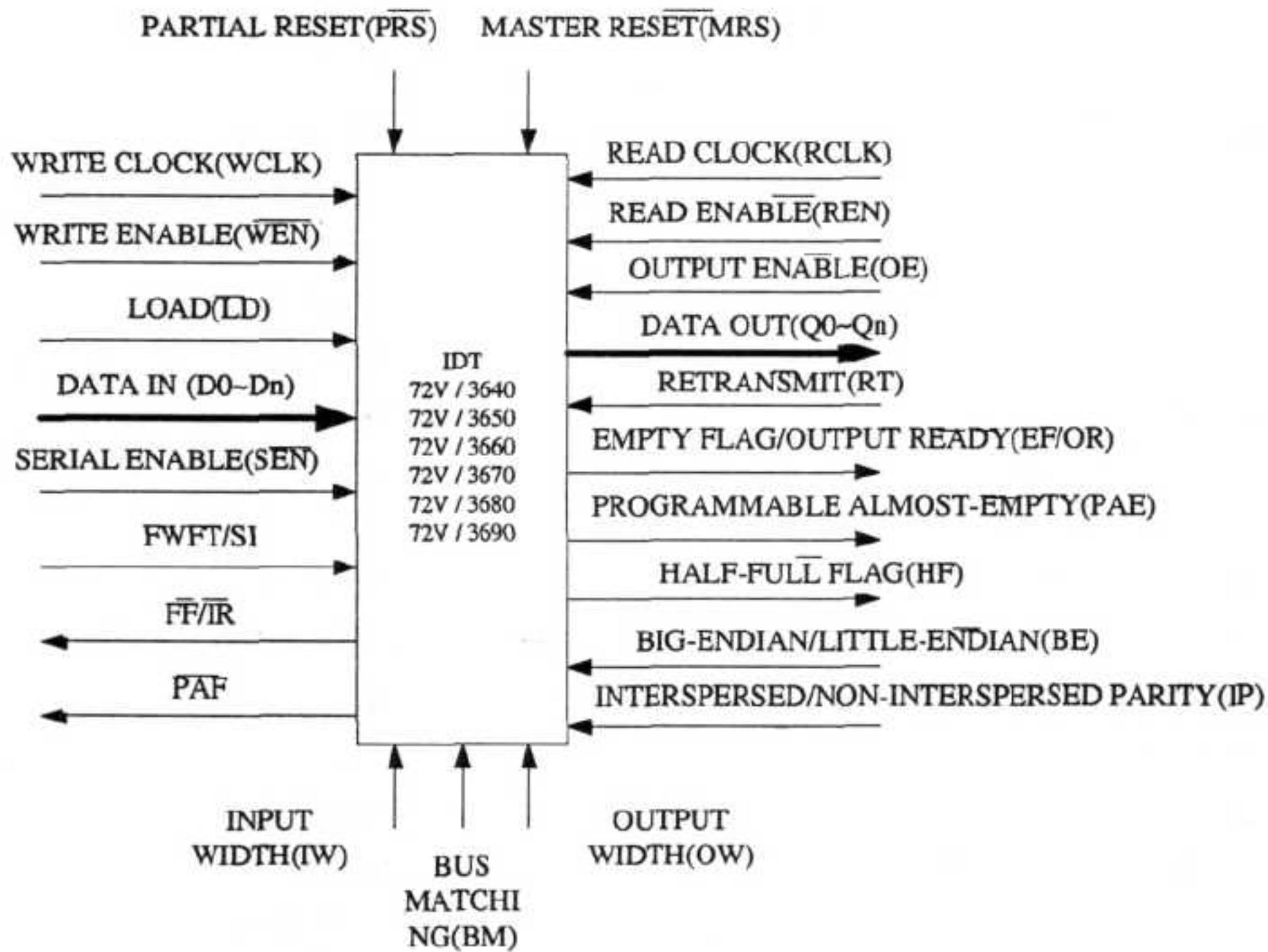


图3 单一设备信号流图表

表1 IDT72V3680模式的状态标志图

Number of Words in FIFO	FF	PAF	HF	PAE	EF
0	H	H	H	L	L
1 to $n^{(1)}$	H	H	H	L	H
$(n+1)$ to 8,192	H	H	H	H	H
8,193 to $(16,384-(m+1))$	H	H	L	H	H
$(16,384-m)$ to 16,383	H	L	L	H	H
16,384	L	L	L	H	H

依此循环进行。表1为该FIFO芯片工作在IDT标准模式下的状态标志位列表，由此也可看出五个主要引脚在判断芯片存储数据时的工作情况。

2 USB设备固件程序开发与软面板设计

2.1 固件程序开发

在使用EZ-USB FX2芯片的应用开发中，利用EZ-USB FX2固件框架可以简化和加速开发此芯片的外围设备。EZ-USB FX2固件函数库则提供了一系列函数来进一步加速USB外设固件程序的开发，这就大大提高了用户开发的效率。固件框架主要包含初始化、处理标准USB设备请求以及USB挂起时的电源管理等。由于提供了现成的8051程序代码，用户只需根据实际芯片和功能简单地给出USB描述符表以及编写外设功能代码，就可以开发出一个功能完善的USB

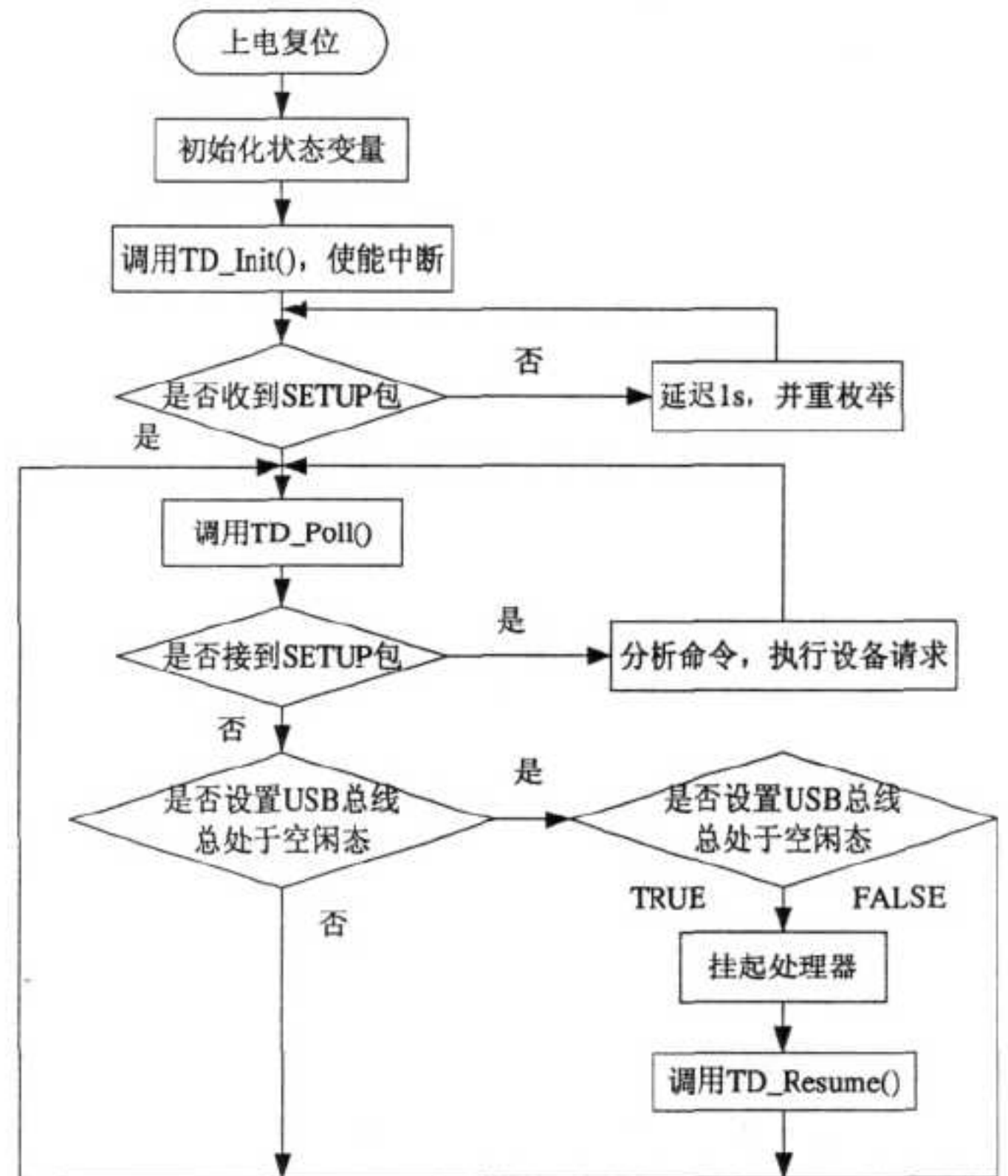


图4 固件框架流程图

外设。固件程序框架流程图如图4所示。

2.2 USB驱动程序设计简介

USB设备驱动程序与以前Windows95下VXD(虚拟设备驱动程序)方式的驱动程序有所不同，它是

WDM (Windows 驱动程序模型) 类型的, 并且不直接和设备硬件通信。简而言之, 驱动程序是一些例程的集合, 由主机系统软件调用或激活。一个 WDM 驱动程序的基本组成包括以下 5 个例程:

- (1) 驱动程序入口例程: 处理驱动程序的初始化;
- (2) 即插即用例程: 处理 PnP 设备的添加、删除和停止;
- (3) 分发例程: 处理用户应用程序发出的各种 I/O 请求;
- (4) 电源管理例程: 处理电源管理请求;
- (5) 卸载例程: 处理驱动程序的卸载。

2.3 软面板设计

虚拟仪器软件是仪器的重要组成部分, 它不仅具有与传统仪器相似的面板图案, 为用户提供一个高级交互界面, 而且还常常集成各种不同的、丰富的仪器功能, 如示波器、频谱分析仪等, 使用户可以根据需要自由选择。因此, 虚拟仪器控制软件的开发在整个虚拟仪器系统设计中是至关重要的。

通常的虚拟仪器控制面板开发多数是用 NI 公司开发的 Measurement Studio 软件组中的 LabWindows/

CVI 或 LabView 作为虚拟仪器编程的语言, 它们都将功能强大、应用广泛的 C 语言与测控专业工具有机地结合起来, 实现数据的采集、分析和显示。本设计利用这两种语言的思想, 采用面向对象的程序设计语言 VC++ 来开发。将计算机技术与虚拟仪器技术结合, 在开发过程中有效运用了串口通信、图像处理和数据处理等计算机相关技术, 而且遵循面向对象的设计思路, 采用事件驱动的方式, 程序流程可由用户决定, 从而增加了系统的灵活性。

VC++ 作为一种编程工具, 它提供的 MFC, 即微软基础类库, 封装了 Windows 里的 API 应用程序接口函数, 还提供了很好的应用程序框架, 最突出的就是“文档_视”结构。本设计正是利用 VC++ 提供的丰富控件资源和良好的开发性能开发了控制虚拟仪器软面板的应用程序。在应用程序的控制面板部分, 只需要显示少量数据和获取少量的用户输入, 因此本软件系统采用 VC++ 中基于对话框的应用程序。在对话框中加入大量控件, 如按钮、静态文本、编辑框、列表框等等, 并对各控件进行如下所示的属性设置, 以此来实现虚拟仪器的各项功能, 具体基本框架如图 5 所示。

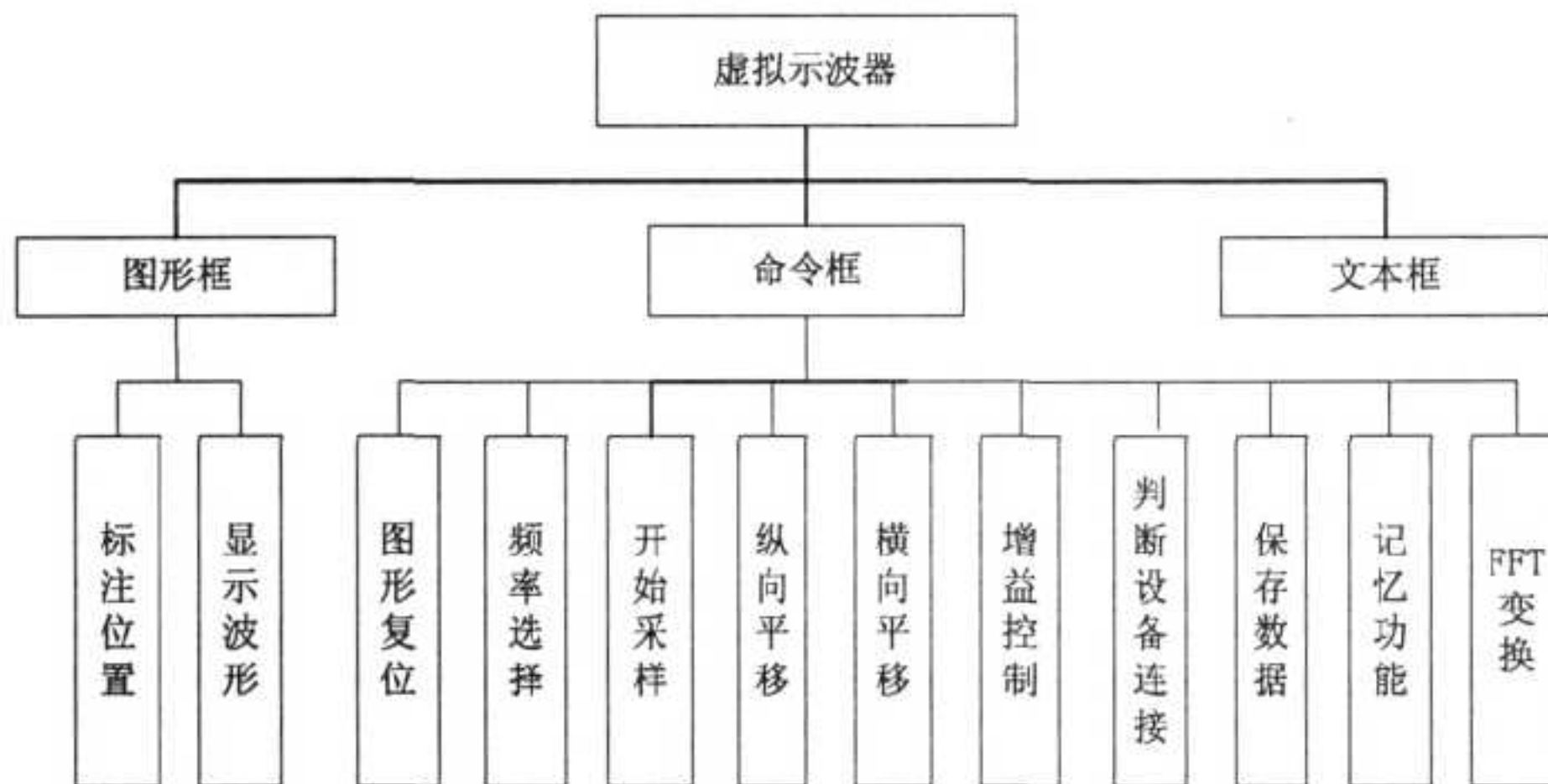


图5 软件的基本框架

面板主要包括五部分, 分别是接口通信模块、波形(频谱分析)、显示模块、参数设定模块、记忆功能模块及数据处理模块。虚拟示波器从接口通信模块开始运行, 这部分采用计算机的设备输入输出控制函数(DeviceIOControl)来判断是否能够获取正确的设备描述符等信息, 该部分设计需要与固件程序中关于设备描述符等的信息匹配, 保证设备间正常通信。

波形显示模块是示波器的主要部分, 须准确、清晰、稳定地显示波形。这部分的设计中要考虑下位机的数据存储能力、初始参数设定以及数字图像处理等

问题, 因此这部分的设计是融合技术最多的部分, 也是实现示波器的关键部分。这部分的设计中利用了计算机高精度和高速度的计算能力, 将下位机传上来的数据首先进行 16 位到 12 位的数据格式转换, 根据参数设定提取数据, 利用高级语言通用函数来存储数据和显示图象。其间利用补偿算法来提高显示质量。因为是动态显示波形, 所以存在屏幕闪烁问题, 需要根据采样频率和视觉识别能力确定最佳抽样点数。

频谱分析模块实现频谱分析功能, 通过应用程序中的快速 FFT 算法对时域信号进行频域分析计算, 并

将结果进行显示。相对于示波器来说,频谱分析仪对数据处理部分要求更高。

参数设定模块实现采样频率的选择和显示图像增益的设定等。当高速采样时,由于存储器容量及通信速度的限制,连续采样时间有限,对低频信号进行测量时有效测量点数会相对减少,为了充分发挥软硬件资源效率,以有限的取样点完整、准确地显示波形,可以对频率、增益等相关参数进行适当设定。

记忆功能模块完成采样的触发控制和测量结果存储,与频率选择相结合来实现波形的完整、精确显

示,主要用于响应时间的测量等。图6是示波器实测信号时的界面。

数据处理模块完成有效值、平均值和峰峰值等的计算。另外,波形数据记忆后,对波形进行缩放观察时,如果采样周期选取不合适,采样数据分辨力不足,则通过计算进行线性插值,以显示平滑连续的图像。

在如图6所示软面板中,描述符按钮用来获取设备信息,以确认设备连接正常;6个增益控件用来控制波形的横向和纵向缩放,在其下面的显示栏,用来

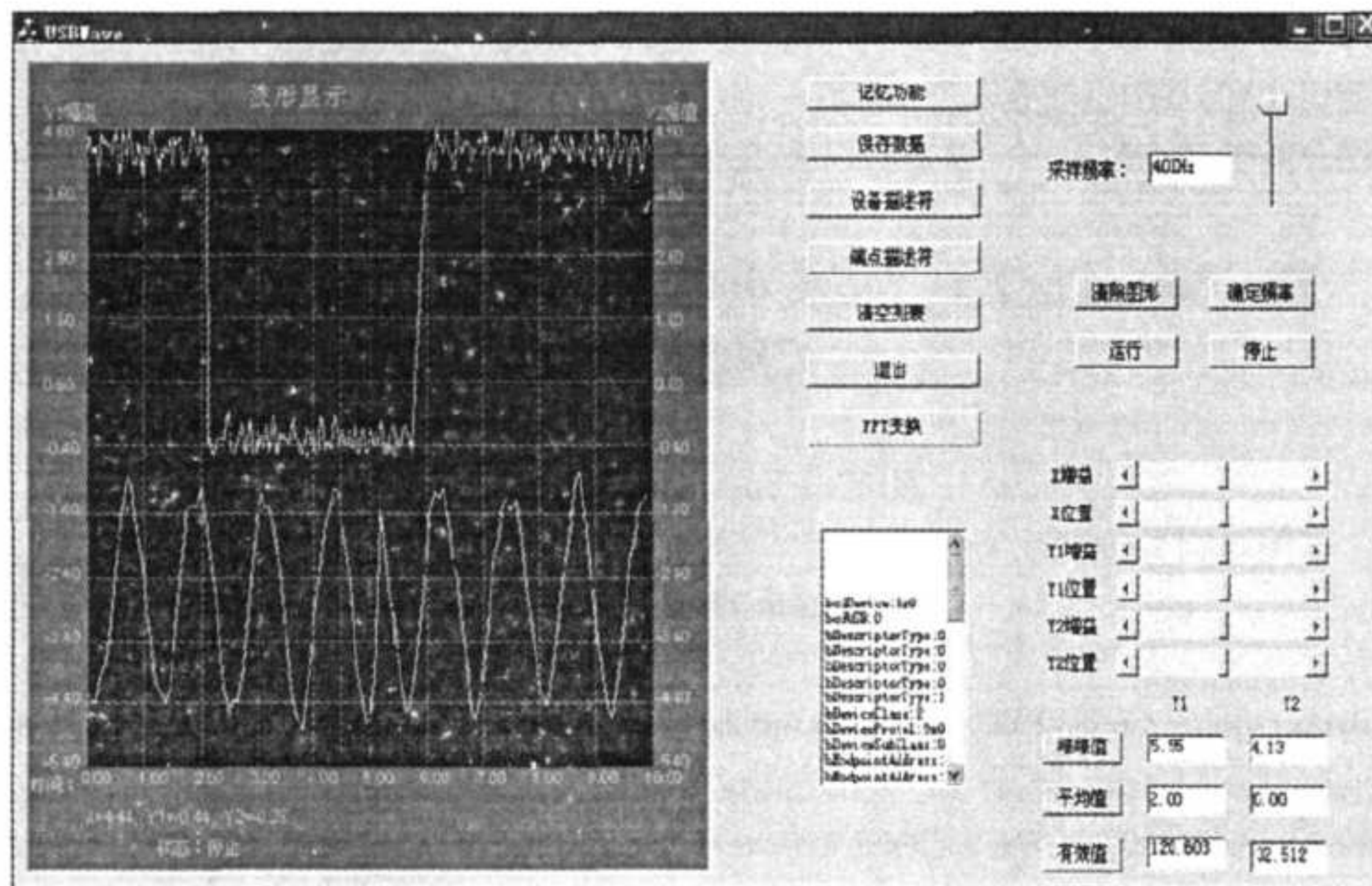


图6 虚拟示波器面板

显示两个波形的峰峰值、平均值、有效值,其他按钮分别对应控件所标示的功能,例如“运行”键用来启动硬件,显示波形;“FFT变换”用来显示频谱分析图形等。

3 结束语

本设计利用自行设计的基本硬件和高级语言VC++开发了一个双通道虚拟示波器。它的最高采样频率为100MSPS,采样频率可调,对于测量范围内不同频率的信号均可达到较理想的显示效果。它还具有有效值、平均值以及峰峰值测量等功能。记忆功能可以准确地记录被测信号的过去信息或仪器的响应时间等。仪器还扩展了频谱分析功能,通过计算进行被测信号的频谱分析,使仪器功能得到丰富。

参 考 文 献

- [1] 沈伟,王军政,汪首坤.基于FIFO的高速高精度数据采集技术研究[J].电子器件,2007,30(5):1673-1676.
- [2] 范胜利.基于USB2.0的高速数据采集系统[J].安徽电子信息职业技术学院学报,2007,6(29):79-81.
- [3] 刘传清,胡荣.虚拟仪器软面板设计技术[J].襄樊学院学报,2002,23(5):14-17.
- [4] 熊兴中,汪学刚.基于USB2.0及SDRAM的大容量存储卡设计[J].现代电子技术,2005,(20):32-34.

作者简介:

林海军(1967-),男,哈尔滨理工大学教授,测试计量技术及仪器专业博士研究生,从事自动测试及故障诊断技术研究。Email:lhjhlgl@126.com

收稿日期:2008-06-17

(常会敏 编发)